

OÜ Lainemudel

Registrikood: 14075763

e-post: lainemudel@gmail.com

Töö nr **1901**

Töö tellija: OÜ Skepast&Puhkim

Registrikood: 11255795

e-post: marju.kaiwapalu@skpk.ee

HAAPSALU LAHE RANNIKUVEEKOGUMI ANALÜÜSID

III köide

Heitvee leviku modelleerimine ja analüüs

Töö autor:

RAIN MÄNNIKUS

Tallinn

Märts 2019

SISUKORD

1. LÄHTEÜLESANNE.....	3
1.1. Eesmärk.....	3
1.2. Sisu.....	3
1.3. Lähtematerjalid.....	3
2. ALGTINGIMUSED	4
2.1. Heitvee olemasolev väljalask.....	4
2.2. Potentsiaalsed asukohad.....	6
2.3. Veetasemed modelleerimiseks	7
2.4. Tuule andmestik	8
3. SIMULATSIOONID	9
3.1. Mudel Delft3D	9
3.2. Mudeli seadistus.....	9
3.3. Simulatsioonide tulemused ja võrdlus mõõdetud näitajatega	11
3.4. Mõju rannale ja mujal	16
4. KOKKUVÕTE	17
VIIDATUD KIRJANDUS.....	18

1. LÄHTEÜLESANNE

1.1. Eesmärk

AS Haapsalu Veevärgi heitvee väljalasu nelja erineva asukoha modelleerimine ja mõju analüüs. Vaja on leida asukoht, kus heitvesi kõige enam seguneks.

1.2. Sisu

- Analüüsitakse erinevate veetasemete ja lainetuse tingimustes heitvee levikut.
- Vaadeldakse/modelleeritakse kahte asukohta Tagalahas, esmalt olemasolevat väljalasku, ja siis nihutakse väljalasku rannikust eemale.
- Vaadeldakse/modelleeritakse kahte asukohta Haapsalu lahes (Suur Holmist läänes)
- Hinnatakse heitvee liikumise/settimise mõju nii olemasolevale sadamaalale kui ka supelrannale.

1.3. Lähtematerjalid

- Tellija poolt edastatud „Haapsalu reoveepuhastiväljalasu reostuskoormus ja vooluhulk aastatel 2014–2017” (Haapsalu Tagalahte juhitud väljalask.docx)
- Tellija poolt edastatud AS Haapsalu Veevärk vee erikasutusluba nr L.VV/330336 (kehtiv 01.03.2018 – 31.12.2020; vana luba L.VV/322837 kuni 28.02.2018). (L_VV_330336_aktsiaselts_Haapsalu_Veevark_10175723_13_04_2018_13_03.odt)
- Veetasemete aegread Rohukülas ja Haapsalus
- Veeteede Ameti poolt edastatud sügavuste andmed Haapsalu lahes
- Vilsandi mõõtejaama tuuled

2. ALGTINGIMUSED

2.1. Heitvee olemasolev väljalask

AS Haapsalu Veevärgi vee-erikasutusloa L.VV/330336 järgi asub väljalask Haapsalu veevärgist põhja pool biotiikides (Joonis 2.1).



Joonis 2.1. Haapsalu veevärgi heitvee väljalasu asukoht (X = 6534134, Y = 474584) Maa-ameti kaardirakendusel.

Väljalasust liigub heitvesi roostikku (Foto 2.1). Sinna on rajatud biotiik (Foto 2.2) enne imbumist Tagalahte. Veevärgil on võimalus sulgeda heitvee voolamine biotiikidesse ja saab juhtida vee nii, et see ei läbi biotiike. Ka sel juhul on väljavool punase ringi juures. Sellisel moel on võimalik teha biotiikides hooldustöid. Tiikidest algab vee imbumine Tagalahte. Biotiikide kaldad on nii kõrged, et merevesi ei jõua nendesse. See juhtus vaid 09.01.2005.a. Biotiikide osa puhastati ja rekonstrueeriti veevärgi esindaja hr Ando Laanesoo sõnutsi paar aastat tagasi. Tabelis 2.1 on toodud Haapsalu reoveepuhastiväljalasu reostuskoormus ja vooluhulk aastatel 2014–2017. Tabeli 2.1 andmete põhjal on leitud maksimaalsed väärtused ja teisendatud vee-erikasutusloaga ühtivatele ühikutele. Teisenduste tulemused on näidatud tabelis 2.2.

AS Haapsalu Veevärgi vee-erikasutusluba nr L.VV/330336 järgi on suublaks määratud Haapsalu Tagalaht. Biotiigis toimub reovee bioloogiline puhastamine ja sellest väljuvale veele on seatud vee-erikasutuslooga piirarvud (vt tabelit 2.2). Seega on allpool modelleeritud väljalasu asukohana Tagalahe rannalähedast punkti.



Foto 2.1. Väljalask roostikku



Foto 2.2. Vaade biotiigile.

Tabel 2.1. Haapsalu reoveepuhasti väljalasu reostuskoormus ja vooluhulk aastatel 2014–2017

Näitaja	Ühik	Aasta			
		2014	2015	2016	2017
Püld	t/a	0,152	0,128	0,153	0,16
Nüüd	t/a	3,8	4,353	3,344	3,968
BHT ₇	t/a	2,464	2,211	2,751	2,154
Heljum	t/a	3,271	2,996	2,984	2,66
KHT	t/a	4,987	14,772	14,873	21,91
Vooluhulk	m ³ /a	465263	463168	466480	476330

Tabel 2.2. Haapsalu reoveepuhasti väljalasu maksimaalne reostuskoormus ja vooluhulk aastatel 2014-2017, lubatud kogused ja nendevaheline suhe. Halliga on tähistatud modelleerimiseks valitud ained ja suurused.

Näitaja	Ühik	Max kogus	Lubatudkogused	Max koguse ja lubatud piiri suhe
Püld	mg/l	0,34	0,5	67%
Nüüd	mg/l	9,14	15	61%
BHT ₇	mg/l	5,78	15	39%
Heljum	mg/l	6,87	15	46%
KHT	mg/l	46,00	125	37%
Vooluhulk	m ³ /s	0,015	0,022	68%

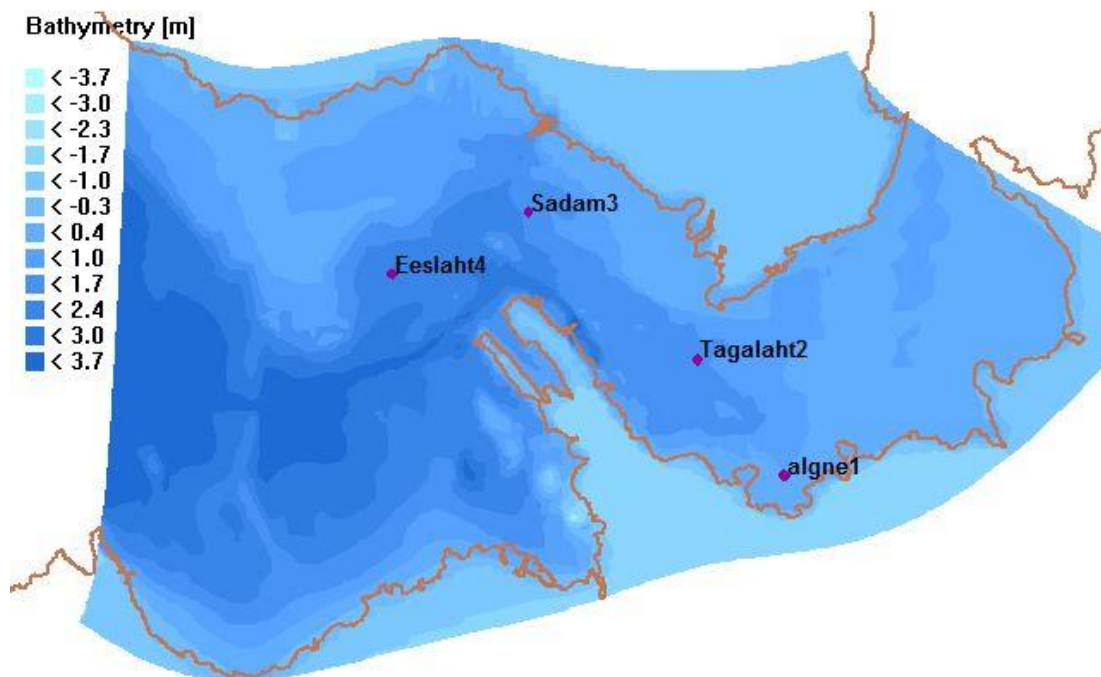
Tabelis 2.2 on leitud aastate 2014-2017 reoveepuhasti väljalasu maksimaalne reostuskoormus ja selle suhe vee-erikasutusloaga lubatusse. Edasises töös otsustati modelleerida kõige suurema suhtega aineid – üldlämmastiku ning heljumit. Heljum on tahked osakesed, mis filtreeritakse laboris välja. Fosfor setitakse veevärgis koagulandi abil mudasse. Kui muda kandub puhastist välja, siis see sisaldab fosforit. Eelöeldust tulenevalt saab vaadelda heljumi ja üldfosfori levikut korruga ja sama iseloomuga. Nende kahe aine kontsentratsiooni vahe on võrdeline heljumi ja üldfosfori koguse suhtega (ligikaudu 20).

Heljumi osakeste tiheduseks võeti Haapsalu veevärgi spetsialistide poolt viidatud artiklist (Dammel ja Schroeder, 1991) $1,02 \text{ g/cm}^3$ ning settimiskiiruseks $0,25 \text{ mm/s}$.

Lämmastikku proovitakse võimalikult palju lennutada atmosfääri, aga mingi osa jääb vette. Eriti on see suurem perioodil, kui vesi on all $+12 \text{ }^\circ\text{C}$. Lämmastikku modelleeritakse seega eraldi heljumist.

2.2. Potentsiaalsed asukohad

Vastavalt Tellijaga kokkulepitule, modelleeriti käesolevas töös lisaks olemasolevale väljalasule ka üht kohta Tagalahes. Eeslahes ning Suur Holmis modelleeriti mõlemas ühte potentsiaalset asukohta. Asukohtade valikul arvestati süvendatud laevatee asukohta, mida võimaliku merrelasus toru ei tohi läbida. Potentsiaalsed asukohad on toodud joonisel 2.2.



Joonis 2.2. Modelleeritud olemasolev (algne1) ja potentsiaalsed väljalasud (Tagalaht2, Sadam3 ning Eeslaht4) Haapsalu lahes. Joonis valmistatud Delft3d tarkvarapaketi vahenditega.

2.3. Veetasemed modelleerimiseks

Haapsalus on meretasemeid mõõdetud aastatel 1945, 1947–1957, 1971–1987 ning automaatjaamaga alates 2010. aastast tänaseni. Uue võimaliku merrelasu asukoha leidmisel tuleb vaadelda esmajoones ekstreemseid olukordi, mille puhul väljuva heitvee levik on maksimaalne. Selle aluseks tuleb võtta võimalikult pikk ja pidev aegrida. Et Haapsalu sadamas mõõdetud veetasemed selleks ei sobi (aastast 1971 kuni 2018 on kaetud vaid 25 aastat ehk veidi üle 50%), siis rakendati käesolevas analüüsis sisendandmetena Rohuküla sadamas teostatud mõõdistusi, mis katavad järjest pikemat ajaperioodi.

Rohuküla sadamas teostati veetasemete mõõdistusi aastatel 1922, 1937–1940, 1950–1991 ning 1994–2013. Automaatjaamaga toimusid mõõtmised aastatel 2007–2013. Erinevused Rohuküla ning Haapsalu sadamates mõõdetud veetasemete vahel võivad ulatuda ligikaudu 5–15 cm-ni, lühiajaliselt võivad need ka suuremad olla (Lehte, 2010). Seetõttu on Rohuküla sadamas mõõdetud andmed sobivad iseloomustamiseks Haapsalu lahe veetaset. Analüüsiks kasutatud Rohukülas mõõdetud veetasemete aegrida katab aastaid 1950–2006, andmed on registreeritud kord 6 tunni jooksul. Aastate 1992–1993 kohta mõõtmisandmed puuduvad.

Ekstreemsete olukordade defineerimisel tuleb teada faktoreid, mis mõjutavad heitvett. Selle segunemise ja hajumise intensiivsus ning levik sõltuvad muuhulgas hoovustest. Mida kiirem vee liikumine (hoovus), seda suurem hajuvus. Haapsalu lahes on põhilised hoovused põhjustatud tuulest ning lainetusest. Kuna Haapsalu laht on madal – maksimum sügavus jääb alla 4 meetri ning keskmine sügavus on 1,5–2 m (Lutt ja Kask, 1980; Veeteede Ameti andmestik, 2019), siis mõjutavad tuuled pea kogu veesammast. Teiseks hoovuste käivitajaks on Väinamerelt (Läänemerelt) Haapsalu lahte levivad lained. Mida kõrgem on veetase, seda kaugemale on läänest tulnud lainetel võimalik levida. Kõrgema veetaseme puhul on võimalikud ka suuremad lained, mis on põhjustatud idakaarte tuultest. Seega sõltuvad hoovused ka tuule suunast. Hoovuste kiirus lahtede avaosas on keskmiselt 15–25 cm/s, kuid maksimum võib ulatuda üle 60 cm/s (Martin, 2007).

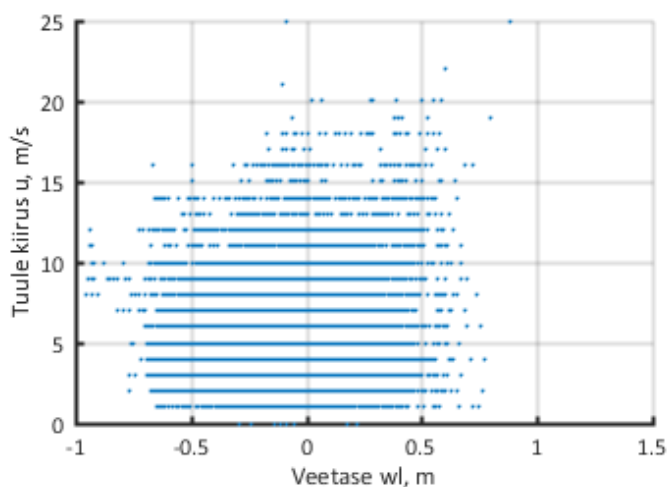
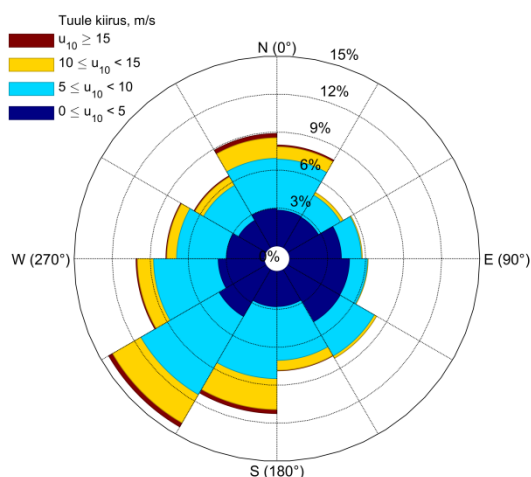
Eeltoodust lähtuvalt on mõistlik vaadata erinevate tuule suundade korral võimalikult kõrgeid veetasemeid. Käesolevas töös valiti nendeks Rohuküla maksimaalsed veetasemed. Olgugi, et nende esinemistõenäosus on Rohukülas väike, on nad väiksemad kui tegelikud veetasemed Haapsalu lahes. Seega on need väärtused tõenäolisemad Haapsalus.

2.4. Tuule andmestik

Väinamerd ja seega ka Haapsalu lahes levivad lained on põhjustatud Läänemerele puhuvatest tuultest. Neid tuuli peegeldab üpris hästi Vilsandi mõõtejaama andmestik aastaist 1961–2015 (Joonis 2.3), mida käesolevas töös ka kasutati. Aastast 1961 kuni 1966. aastani mõõdeti tuult iga 6 tunni tagant. Pärast seda, kuni 30.09.2003 viidi mõõtmisi läbi korda ööpäevas : 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 GMT +2 järgi. Hiljem mõõdeti tuule kiirust ja suunda iga tund.

Modelleerimisel tuleb vaadelda veetaset ja lainetust tekitavat tuult koos. Seega võeti aluseks periood, mil veetasemete ja tuule andmestikud kattuvad. Selleks on 1966–2003 (v.a. 1992 ja 1993). Tuule ja veetasemete ühisjaotus on toodud joonisel 2.4.

Ekstreemses situatsioonis vaadeldi maksimaalset veetaset ja sellele vastavat tuult ühisjaotuselt. Neid olukordi kõrvutati situatsioonidega, mil veetase on 0 m. Lisaks vaadati mahedaid olukordi, kui on 0 m veetase ja madalad tuulekiirused (5 m/s). Valitud veetasemete väärtused koos tuule suundade ja kiirustega on toodud tabelis 2.3.



Joonis 2.3. Tuule suuna ja kiiruste jaotus Vilsandi mõõtejaamas 1961–2015. u_{10} tähistab 10 m kõrgusel mõõdetud tuule kiirust.

Joonis 2.4. Vilsandis mõõdetud tuule kiiruste ja Rohuküla veetasemete ühisjaotus kagutuulte (90° – 180°) korral aastail 1966–2003 (v.a. 1992 ja 1993).

Tabel 2.3. Modelleerimisel kasutatud veetasemed ja vastavad tuulekiirused. Kokku modelleeriti 12 erinevat kombinatsiooni.

	0° - 90°		90° - 180°		180° - 270°		270° - 360°	
	u, m/s	wl, m	u, m/s	wl, m	u, m/s	wl, m	u, m/s	wl, m
Mahedad olud	5	0	5	0	5	0	5	0
0 wl, max wl vastav tuul	24	0	25	0	25	0	24	0
Max wl, vastav tuul	15	0,77	25	0,88	20	1,33	24	1,57

3. SIMULATSIOONID

3.1. Mudel Delft3D

Haapsalu veevärgi heitvee heljumi ja lämmastiku leviku modelleerimiseks on kasutatud tarkvara Delft3D. See on tarkvara uurimaks hüdrodünaamilisi protsesse (nii hoovuseid kui ka lainetust), setete transporti, põhja morfoloogiat ning vee kvaliteeti jõgedes, estuaarides ja rannikutel. Seda on kasutatud paljudes paikades üle maailma, nagu näiteks Hollandis, USA-s, Hong Kongis, Singapuris, Austraalias, Veneetsias. Delft3D koosneb moodulitest, millest igüks on suunatud erineva sisuga ülesannete lahendamiseks. Neid võib kasutada kombineeritult keerukamate ülesannete jaoks. Lisaks on eraldi moodulid andmete sisestamiseks ja tulemuste analüüsiks.

Moodul WAVE põhineb SWAN mudelil. SWAN mudel (Simulating Waves Nearshore) on kolmanda põlvkonna spektraalne lainemudel, mis võimaldab arvutada tuulelainete parameetreid madalas rannikumeres ja sisevetes. Mudel baseerub kahemõõtmelise spektraalse lainemõju bilansi võrrandil. SWAN mudelit on edukalt verifitseeritud välimõõtmiste põhjal ja paljudes laboratoorseseks eksperimentides.

Hydrodünaamiline moodul FLOW baseerub Navier-Stokes'i võrranditel, mis on kohaldatud madala vee jaoks. Nende võrrandite lahendamiseks rakendatakse kõrgemat järku absoluutselt stabiilseid numbrilisi skeeme. Tõusudest-mõõnadest ning atmosfääri mõjudest (õhurõhu muutumine, tuul) tingitud mittestatsionaarsed hüdrodünaamilised protsessid (nt hoovused ja nende poolt põhjustatud transport) arvutatakse ebaregulaarsel arvutusvõrgul, mis on üldiselt konstrueeritud vastavuses arvutuspiirkonna raja(de) geomeetriaga piirtingimustega piiratud võrgustikul.

3.2. Mudeli seadistus

Süvendamisel tekkiva heljumi leviku modelleerimiseks arvutati esmalt lainetuse parameetrid moodulis WAVE. Selles kasutati kolmeastmelist skeemi. Esimese astmena arvutati lainetuse parameetrid Läänemeres suhteliselt tagasihoidliku lahutusvõimega (mudeli võrgu samm varieerus 500 ja 1500 m vahel). Teise astmena arvutati lainetust Väinamerel ning Hiiumaa ümbruses (võrk kattis 92×85 km suurust ala ja lahutusvõime oli 1500 ja 800 m vahel). Kolmandas arvutati lainetuse parameetrid Haapsalu lahes (võrk kattis 25×10 km suurust ala ja lahutusvõime oli 150 ja 50 m vahel teravdudes lahe pära suunas). Alumiste astmete arvutused tuginesid mudeli kõrgemates astmetes leitud lainetuse parameetritel. WAVE moodulis rakendati ühest suunast pidevalt puhuvat tuult ning tervet ala katvat ühtlast veetaset. Tuule kiirused saadi Vilsandi mõõtejaamast ning veetasemed Rohukülalt.

Mooduli WAVE kolmanda astme tulemused olid sisendiks moodulile FLOW. Selles kasutati eraldiseisvat arvutusvõrku, mis kattis 10000×5000 m suurust ala ja lahutusvõime oli 90 ja 40 m vahel.

Batümeetria alusandmed saadi Veeteede Ameti mõõdistustest ning Läänemere batümeetria andmebaasist (BSHC, 2013). Need interpoleeriti kasutatud arvutusvõrkudele Delft3D sisseehitatud tarkvara abil. Haapsalu linna modelleeriti käesolevas töös tõkkena, mis peegeldab 10% lainetest.

Simulatsioone teostati 36-tunnise ajavahemiku vältel 01.01.2019–02.01.2019. Arvutusi ei seotud hüdroloogiliste ja meteoroloogiliste parameetritega konkreetsetel päevadel, mistõttu mudel ei peegelda situatsiooni valitud päeval ning on kasutusel vaid mittestatsionaarsete protsesside käigu iseloomustamiseks. Mitmesugused hüdrodünaamilised parameetrid vajavad üldjuhul teatavat kohanemisaega (*spin-up time*), et kohaneda muutuva situatsiooniga (nt. avamerelt saabuvate lainetuse tingimustega). Selle aja jooksul võivad settimisprotsessid toimuda märgatavalt erinevalt tasakaalulisest situatsioonist ning nende väärtused ei ole realistlikud. Süsteemi kohanemisaegaks valiti 720 minutit.

Väljalaske modelleeriti võrgu pesadesse paigutatud allikatena, kust voolas välja koos veega lämmastikku ja heljumit. Väljalask hakkas tööle 12 tundi pärast simulatsioonide algust ning väljastas seejärel aineid 12 jooksul. Kogused on toodud tabelis 2.2. Nende põhjal võib arvutades näiteks 30 minuti jooksul merre voolava lämmastiku koguse:

$$0,00914 \text{ kg/m}^3 * 0,015 \text{ m}^3/\text{s} * 30 \text{ min} * 60 \text{ s} = 0,25 \text{ kg}$$

Arvestades, et võrgu silma suurus on keskmiselt 60x45 m ning sügavus antud kohas 1,2 m, siis

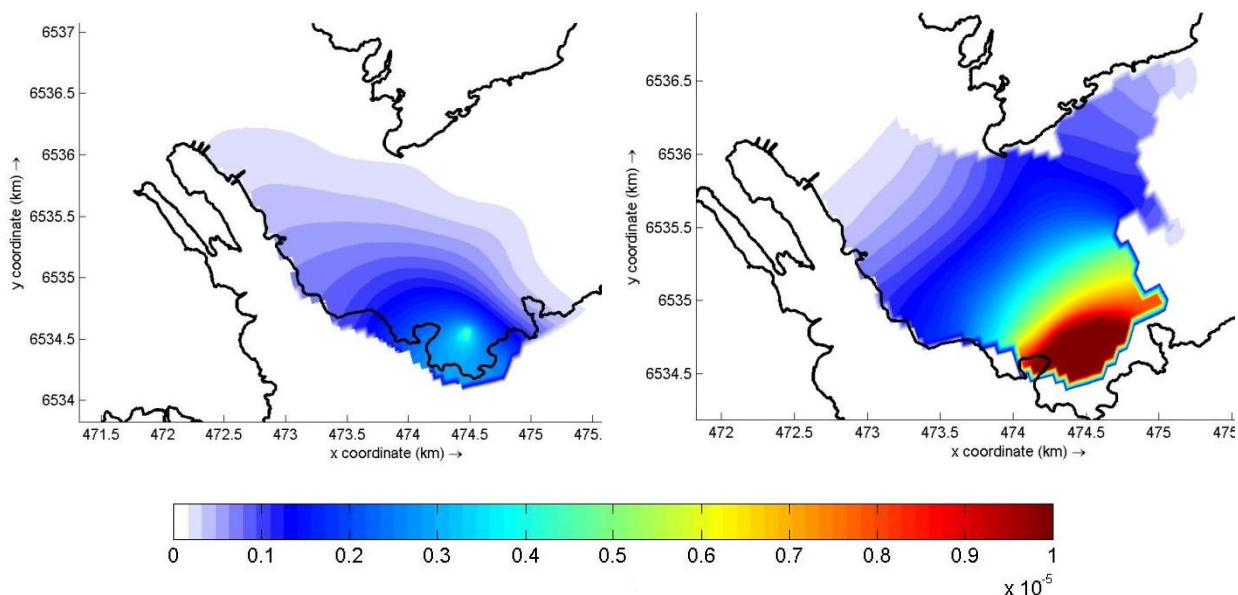
$$0,25 \text{ kg} / (60 \text{ m} * 45 \text{ m} * 1,2 \text{ m}) = 7,7 * 10^{-5} \text{ kg/m}^3 = 5,5 \text{ } \mu\text{molN/l}.$$

See on eeldusel, et kogu 30 minuti jooksul on väljutatud lämmastik jäänud veesambasse võrgu silma piires. Tegelikult levib see aga kaugemal ning seepärast on kontsentratsioon selles võrgusilmas väiksem.

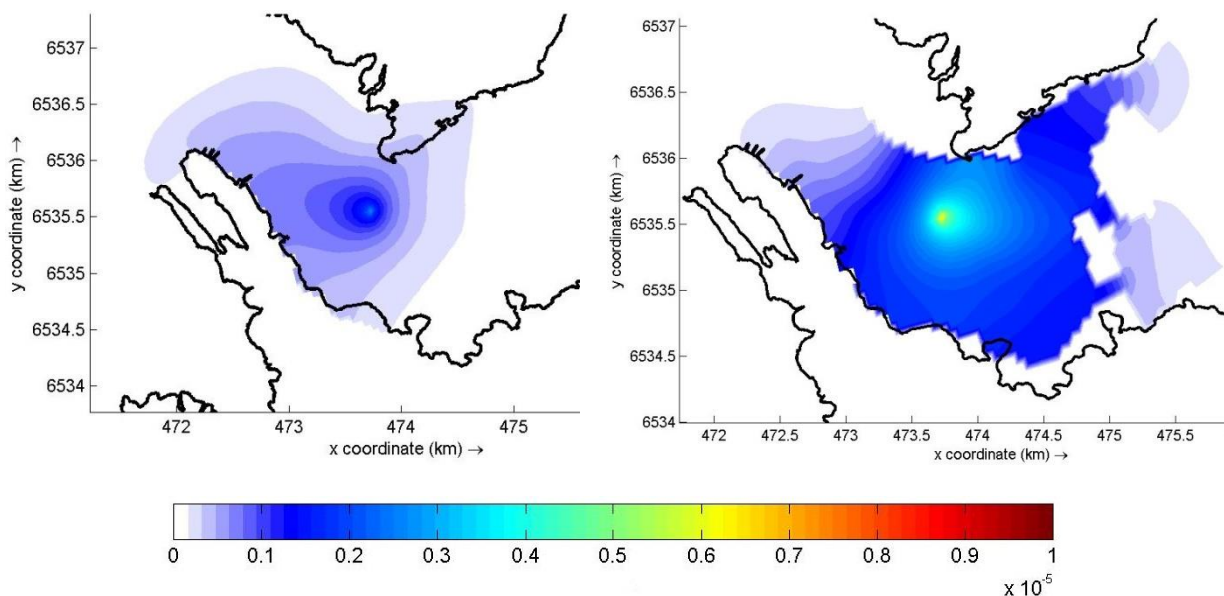
Heitvee segunemise ja hajumise intensiivsus ning levik sõltuvad heitvee vooluhulgast, hoovuse struktuurist ja kiirusest, merevee ja heitvee tihedusest ning veesamba stratifikatsioonist. Mida kiirem vee liikumine (hoovus), seda suurem segunemine ja hajuvus. Lainetusest ja tuulest põhjustatud hoovuseid modelleeriti ühes kihis, sest Haapsalu laht on väga madal. Maksimaalne sügavus jääb alla 4 meetri ning keskmine sügavus on 1,5–2 m (Lutt ja Kask, 1980; Veeteede Ameti andmestik, 2019). Seetõttu puudub vertikaalne temperatuuri gradient ja kihistumine (Martin, 2007). Merevee ja heitvee tihedus loeti samaks, sest Haapsalu lahes on tegu suhteliselt mageda veega ning nende vahe ei ole selline, mis avaldaks modelleerimise tulemustele nimetamisväärselt mõju.

3.3. Simulatsioonide tulemused ja võrdlus mõõdetud näitajatega

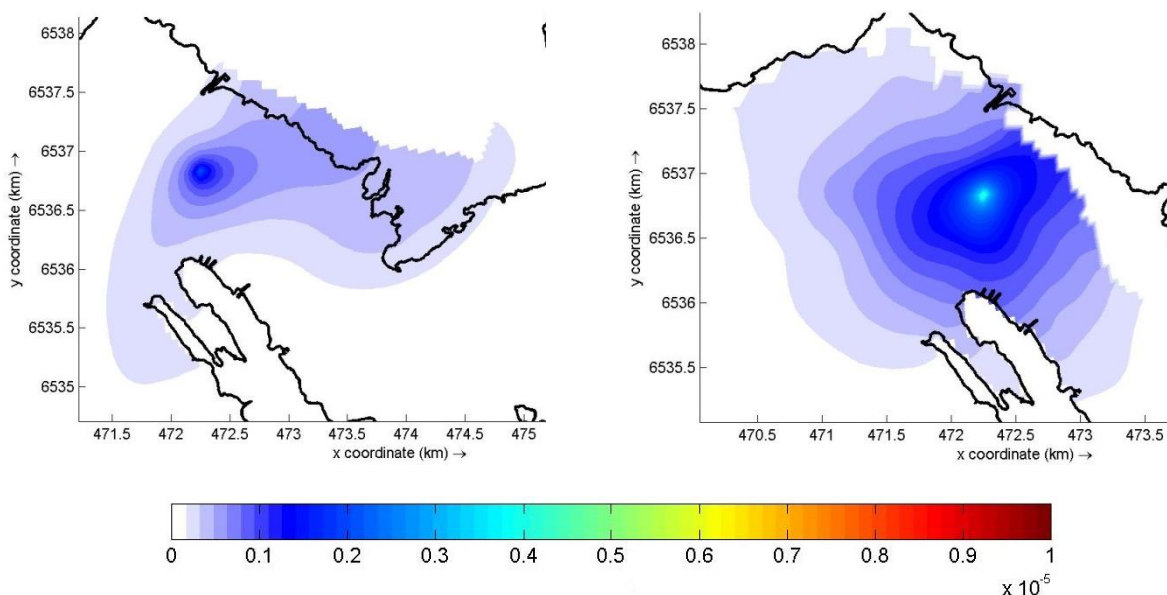
Joonistel 3.1 kuni 3.4 on toodud modelleeritud lämmastiku levik erinevate olukordade korral. Joonised 3.7. kuni 3.10 kajastavad heljumi levikut. Toodud on laialdasema levikuga juhtumid.



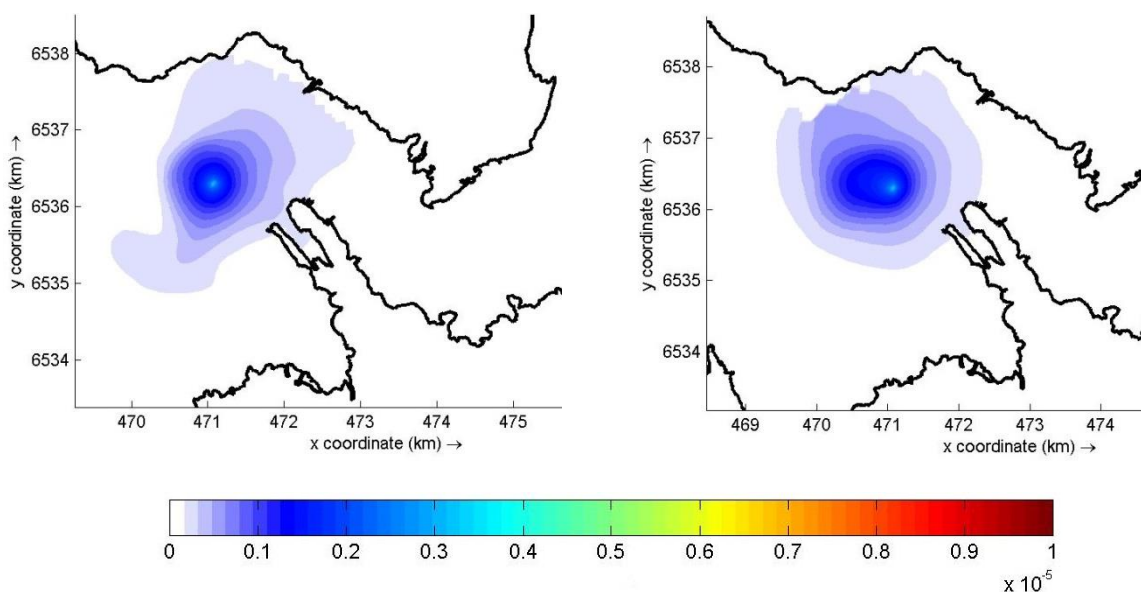
Joonis 3.1. Situatsioon olemasoleva väljalasu korral. Lämmastiku levik 1,33 m veetaseme ja SW puhuva 20 m/s tuule kiiruse korral (vasakul). Levik 0 m veetaseme ning SW puhuva 5 m/s tuule kiiruse korral (paremal). Ühikud on kg/m³ kohta.



Joonis 3.2. Situatsioon Tagalahes asuva väljalasu korral. Lämmastiku levik 1,57 m veetaseme ja NW puhuva 24 m/s tuule kiiruse korral (vasakul). Levik 0 m veetaseme ning NW puhuva 24 m/s tuule kiiruse korral (paremal). Ühikud on kg/m³ kohta.



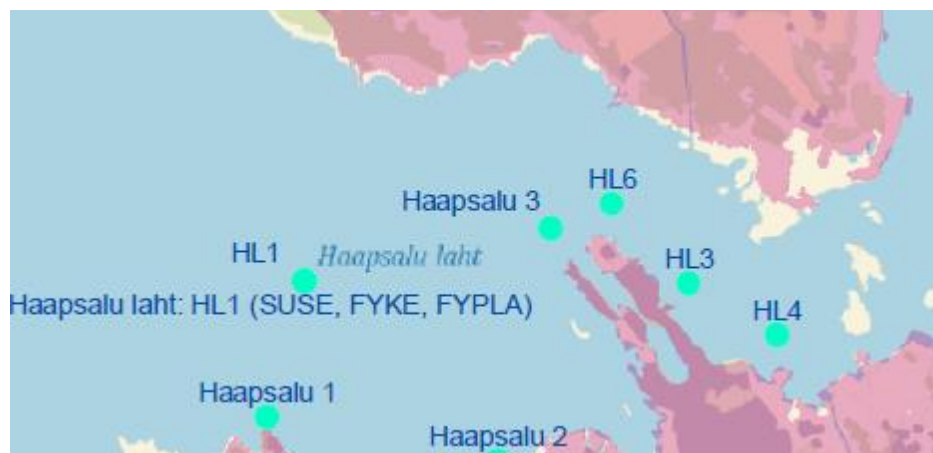
Joonis 3.3. Situatsioon Suur Holmis asuva väljalasu korral. Lämmastiku levik 1,33 m veetaseme ja SW puhuva 20 m/s tuule kiiruse korral (vasakul). Levik 0 m veetaseme ning SE puhuva 25 m/s tuule kiiruse korral (paremal). Ühikud on kg/m^3 kohta.



Joonis 3.4. Situatsioon Eeslahes asuva väljalasu korral. Lämmastiku levik 0 m veetaseme ja NW puhuva 24 m/s tuule kiiruse korral (vasakul). Levik 0 m veetaseme ning NE puhuva 15 m/s tuule kiiruse korral (paremal). Ühikud on kg/m^3 kohta.

Modelleerimistel saadud kontsentratsioone võrreldi Haapsalu lahe rannikuveekogumis perioodil 2000–2015 mõõdetud näitajatega (Allikad: Rannikumere seire allprogramm „Eutrofeerumine” 2000. aasta koondaruanne; Matsalu ja Haapsalu lahe seisundi täpsustamine ning seisundi vastavuse hindamine aastaks 2015 kehtestatud keskkonnanäitajatele; Rannikumere

operatiivseire aruanded 2007–2015), mis mõõdeti joonisel 3.5 toodud punktides HL4 ja HL6. Näitajate keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed tulemused on tabelis 3.1.

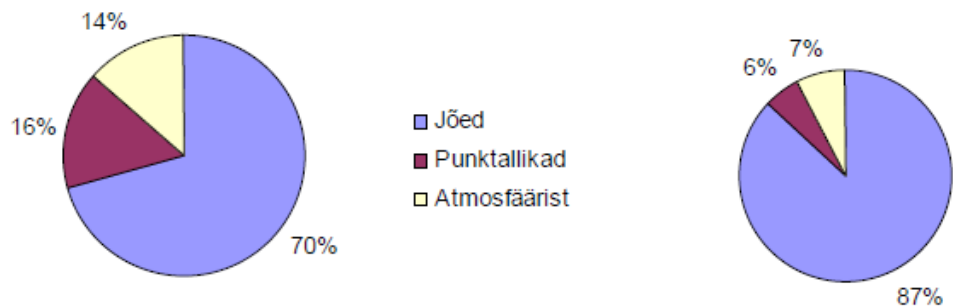


Joonis 3.5. Haapsalu lahe rannikuveekogumi mõõtepunktid.

Tabel 3.1. Mõõdetud lämmastiku ja fosfori koguste minimaalsed, keskmised ja maksimaalsed väärtused aastail 2014–2015.

		N $\mu\text{mol/l}$	N kg/m^3	P $\mu\text{mol/l}$	P kg/m^3
HL4	max	77,7	1,1E-03	2,1	6,5E-05
	keskmine	54,2	7,6E-04	1,5	4,5E-05
	min	26,3	3,7E-04	1,1	3,3E-05
HL6	max	70,0	9,8E-04	1,5	4,5E-05
	keskmine	38,4	5,4E-04	1,1	3,3E-05
	min	23,5	3,3E-04	0,5	1,6E-05

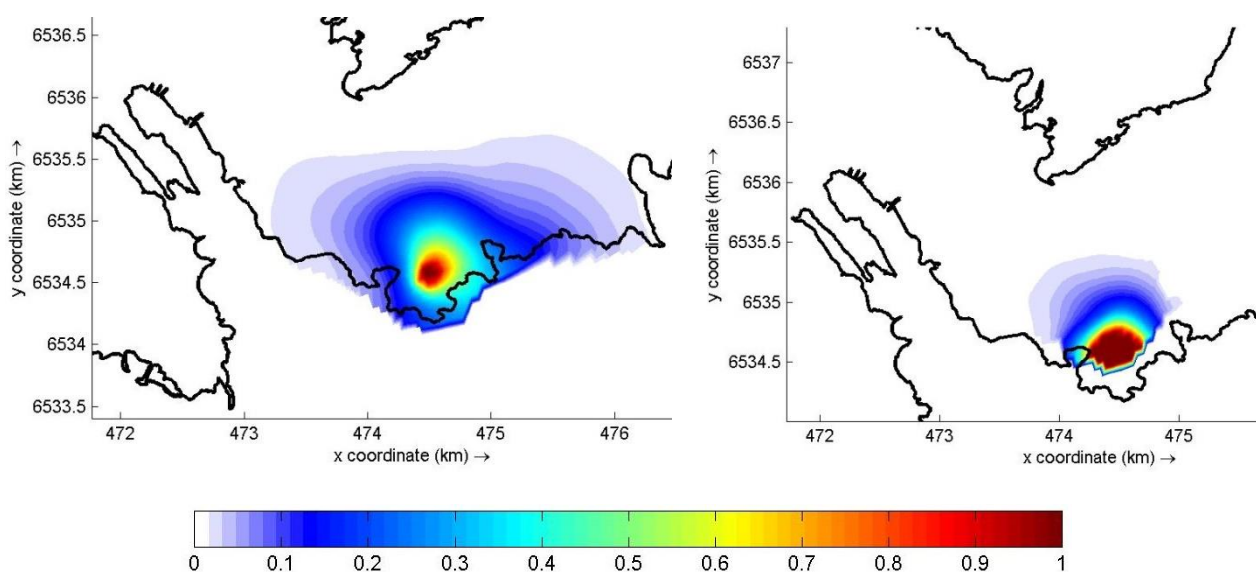
Tabelis 3.1 toodud arvude võrdlemisel modelleeritud tulemustega peab arvestama seda, et modelleerimisel vaadeldi vaid väljalasust tulevaid aineid ega vaadatud seda, mis on juba merepõhjas või vees olemas ning mis tuleb modelleerimise ajahetkel jõevest ja teistest allikatest. Seega tuleb vähendada toodud numbreid. TÜ Eesti Mereinstituudi aruanne (Martin, 2007) toob välja, et suurem osa Haapsalu lahes olevatest toitainetest tuleb jõgedest (Joonis 3.6). Punktallikatest (s.h. Haapsalu heitveepuhastist) tuleb väike osa, mis on võrdne atmosfäärist tuleva koormusega. Kuigi 2007. aasta Mereinstituudi aruandes on skeem (Joonis 3.6) arvestanud hüpoteetilise toitainete hulga 2015. aastal, saab sellel joonisel toodud suhtarvud aluseks võtta, kuna heitveepuhastist väljuvate ainete hulk on neist väiksem (Tabel 2.2). Seega saab eeldada, et Haapsalu veevärgi heitveest tulenev koormus on samas suurusjärgus tabelis 3.2 näidatud väärtustega.



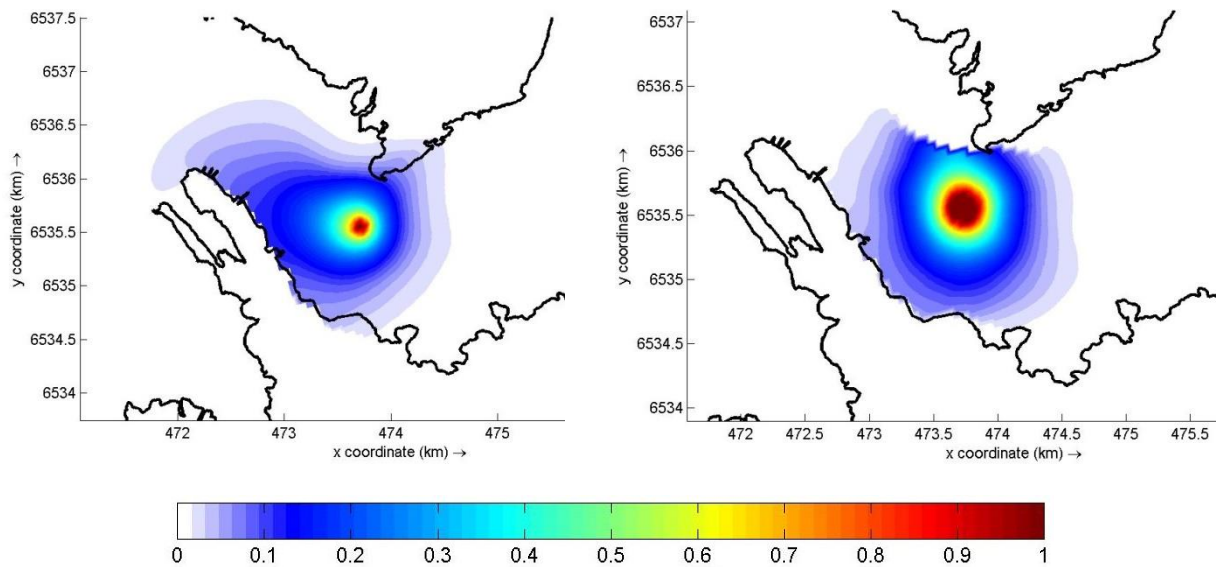
Joonis 3.6. Haapsalu lahe lämmastiku (vasakul) ja fosfori (paremal) koormuse jaotus kui Haapsalu heitveepuhasti väljavoolu keskmine N kontsentratsioon on 15 mgN/l ja P kontsentratsioon 1,0 mgP/l (Martin, 2007).

Tabel 3.2. Haapsalu veevärgi heitveest põhjustatud osa tabelis 3.1. toodud väärtustest.

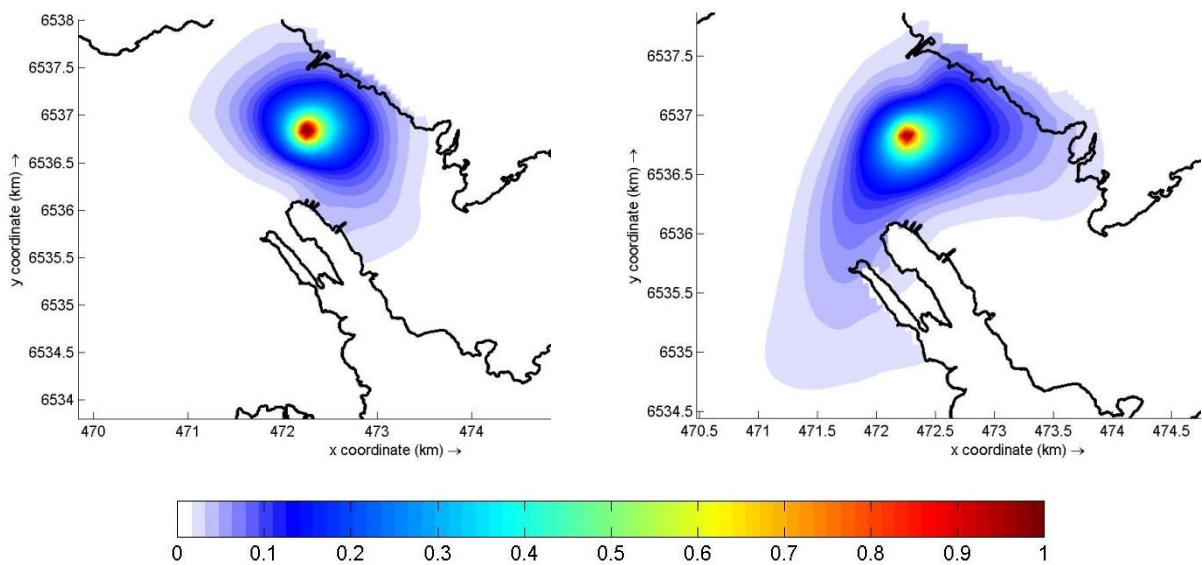
		N $\mu\text{mol/l}$	N kg/m^3	P $\mu\text{mol/l}$	P kg/m^3
HL4	max	12,4	1,7E-04	0,1	3,9E-06
	keskmine	8,7	1,2E-04	0,1	2,7E-06
	min	4,2	5,9E-05	0,1	2,0E-06
HL6	max	11,2	1,6E-04	0,1	2,7E-06
	keskmine	6,1	8,6E-05	0,1	2,0E-06
	min	3,8	5,3E-05	0,0	9,6E-07



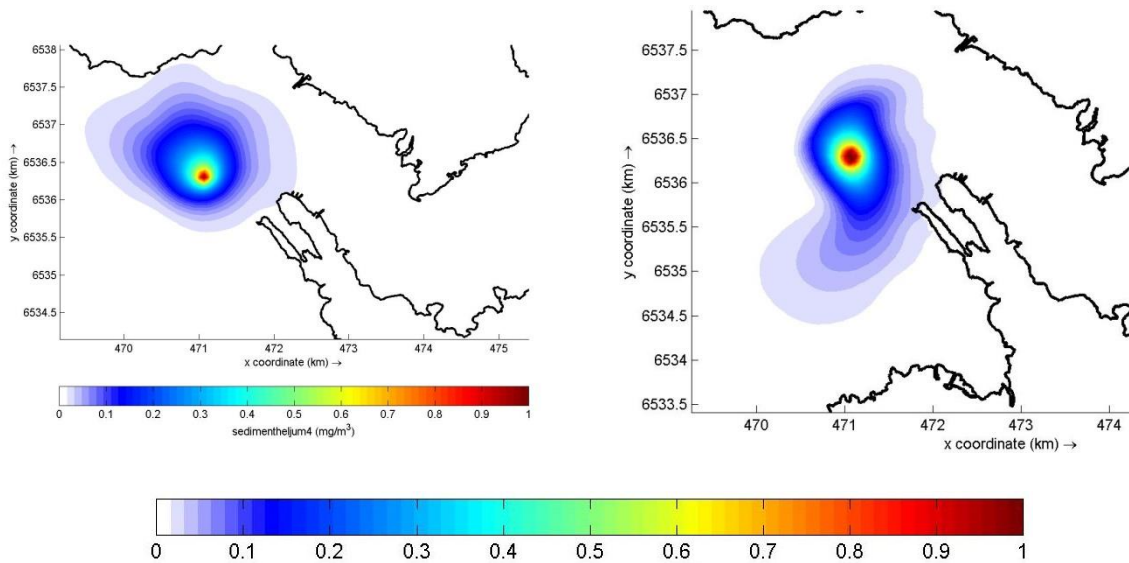
Joonis 3.7. Situatsioon olemasoleva väljalasuga korral. Heliumi levik 1,57 m veetaseme ja NW puhuva 24 m/s tuule kiiruse korral (vasakul). Levik 0 m veetaseme ning NW puhuva 24 m/s tuule kiiruse korral (paremal). Ühikud on mg/m^3 kohta.



Joonis 3.8. Situatsioon Tagalahes asuva väljalasu korral. Heljumi levik 1,33 m veetaseme ja SW puhuva 20 m/s tuule kiiruse korral (vasakul). Levik 0 m veetaseme ning SE puhuva 25 m/s tuule kiiruse korral (paremal). Ühikud on mg/m^3 kohta.



Joonis 3.9. Situatsioon Suur Holmis asuva väljalasu korral. Heljumi levik 0,77 m veetaseme ja NE puhuva 15 m/s tuule kiiruse korral (vasakul). Levik 1,33 m veetaseme ning SW puhuva 20 m/s tuule kiiruse korral (paremal). Ühikud on mg/m^3 kohta.



Joonis 3.10. Situatsioon Eeslahes asuva väljalasu korral. Heljumi levik 0,88 m veetaseme ja SE puhuva 25 m/s tuule kiiruse korral (vasakul). Levik 0 m veetaseme ning SW puhuva 20 m/s tuule kiiruse korral (paremal). Ühikud on mg/m³ kohta.

3.4. Mõju rannale ja mujal

Tulemustest nähtub, et väljalasu algse asukoha korral on heljumi ja lämmastiku (siin ja edaspidi: lämmastik ja muud heitvees olevad ained) levik lokaalne. Need jäävad Tagalahte ning suure tõenäosusega ei liigu need suurest Holmist edasi lääne poole. Vaid ekstreemsete tingimuste korral (näiteks Joonis 3.1), kui veetase on kõrge ning samaaegselt on puhumas tugevad tuuled, võivad lämmastiku osakesed jõuda Suur Holmini. Selline levik on tingitud kitsast ja madalast mereosast, mis eraldab Tagalahte Haapsalu lahe läänepoolsest osas. Arvestada tuleb siinjuures ka seda, et olemasolevat väljalasku on modelleeritud võimalikult põhja pool Tagalahes. Selle tingis mõõdistusandmete puudus madalas rannaäärses osas. Tegelikult toimub biotiikidest tuleva heitvee imbumine Tagalahte rohkem lõunas. Seega on levik kujutatust lokaalsem. Siiski jõuavad heitveest tulevad ained Aafrika randa ning ekstreemsetel juhtudel ka Haapsalu idapoolsete sadamateeni. Võttes arvesse heitveest pärinevate ainete suhet muudest allikatest tulevate ainetega (Joonis 3.6) võib öelda, et see on üpris väike. Kas ja kuidas võib see siiski olla kahjulik loomastikule või taimedele, jääb käesoleva analüüsi temaatikast välja.

Kui paigutada Haapsalu Veevärgi heitvee väljalask keset Tagalahte, siis jääb segunemine ja selles tulenevalt ainete levik lokaalseks. Heitvee osakesed liiguvad veidi Suurest Holmist lääne poole, kuid võrreldes algse asukohaga on see marginaalne. Et potentsiaalne asukoht on siiski lähemal Aafrika rannale ja Haapsalu idapoolsetele sadamatele, siis on väljalasu võimalik mõju suurem kui olemasoleval asukohal.

Mida lääne poole paigutatakse potentsiaalse uue väljalasu asukoht, seda suurem on ainete segunemine ja laiali valgumine. Seda ilmestavad simulatsioonide tulemuste joonistel kahanenud

konsentratsioonid (vähem suuri punaseid laike) nii lämmastiku kui heljumi puhul. Tulemustest on näha, et sel puhul on ka võimalik mõju Aafrika rannale ja idapoolsetele sadamatele väiksem. Eeslahe lõunarannik on samuti vähesel määral mõjutatud väljalaskudest, sest need jäävad Haapsalu lahes olevast laevakanalist põhja poole.

Eeltoodu põhjal saab öelda, et mida enam lääne poole Suurest Holmist tuua heitvee väljalask, seda suurem on ainete segunemine. See on ka loogiline, sest see osa on rohkem avamerele ja selle mõjutustele avatud. Tagalaht on varjatud Haapsalu linna poolt ning selles lahes asuvad heitvee väljalasud oleksid lokaalse mõjuga. Samas on nende mõju suurem Aafrika rannale ja sadamatele. Arvestades võimalike tööde maksumust (pole käesolevas analüüsis rehkendatud) ning Haapsalu Veevärgi heitvee väljalasust tulevate ainete suhet muudest allikatest tulevate ainete hulka (Joonis 3.6, 16%), siis oleks mõju muutus väike.

4. KOKKUVÕTE

Käesolevas töös modelleeriti Delft3D tarkvaraga Haapsalu Veevärgi heitvee olemasolevast ja kolmest potentsiaalsest väljalasust tuleva heljumi ja toitainete levikut. Algandmeteks olid Tellija poolt edastatud Haapsalu reoveepuhasti väljalasus reostuskoormused ja väljalasud aastail 2014-2017 ning AS Haapsalu Veevärgile antud vee-erikasutusluba. Täiendavalt kasutati Veeteede Ameti sügavusi Haapsalu lahes, veetasemete mõõtmise aegridu Rohukülas ning Vilsandi mõõtejaama tuuli. Kolm võimalikku heitvee väljalasus kohta olid kindlaks määratud kohtumisel Keskkonnaameti esindajatega. Asukohtadega valikul üritati kuvada võimalikult erinevaid situatsioone. Läheandmed olid tööks piisavad.

Keskkonnaamet soovis võtta eesmärgiks heitvee võimalikult suure hajutamise ja segunemise. Sellised tingimused on täidetud kõige läänepoolsema asukoha puhul. See on tingitud selle ala kõige suuremast avatusest avamerele. Tagalahes paiknev üks võimalik ja olemasolev asukoht on varjatud avamere mõjude eest ning nii jääb heljumi ja ainete levik lokaalseks. Neil juhtudel on ka Aafrika rand ning Haapsalu linna idapoolsed sadamad mõjutatud rohkem heitveest kui Suurest Holmist lääne pool asuvate väljalaskude korral.

Varasem TÜ Mereinstituudi uuring (Martin, 2007) näitas, et tegelikult on punktallikatest (s.h. Haapsalu Veevärgi heitvee väljalask) tulenev koormus osa kogukoormusest. Lämmastiku ja fosfori puhul oli need arvud vastavalt 16% ja 6%. Suurem koormus tuleb hoopis jõgedest ning võrreldav kogus atmosfäärist. Seega on heitvee väljalasus asukoha muutmine suhteliselt väikse mõjuga, kuid vähendaks siiski ainete ja heljumi koormust Tagalahes. Saadavat kasu tuleb vaadata kindlasti koos ehituse maksumuse ja halduskuludega ning võrrelda jõgedest tulevate koormuste vähendamiste maksumustega.

VIIDATUD KIRJANDUS

Dammel, E. E., Schroeder, E. D. 1991. Density of activated sludge solids. *Water Research*. 25, 7. pp. 841–846.

Eipre, T., Pärn, M. 1982. Matsalu Riiklik Looduskaitseala ja selle ümbruse kliima ning veerežiim. Paakspuu, V. (toim.) Eesti NSV Riiklike Looduskaitsealade Teaduslikud Tööd, kd 3. Valgus, Tallinn, lk 4–42.

Martin, G. 2007. Matsalu ja Haapsalu lahe seisundi täpsustamine ning seisundi vastavuse hindamine aastaks 2015 kehtestatud keskkonna eesmärkidele. TÜ Eesti Mereinstituudi aruanne, 39 lk.

Suursaar, Ü., Kullas, T., Otsmann, M. 2003. Modelling of flows, sea level variations and bottom stresses in the coastal zone of West Estonia. Brebbia, C.A., Almorza, D., Lopez-Aguayo, F. (eds.) Coastal Engineering VI Computer Modelling and Experimental Measurements of Seas and Coastal Regions. WIT Press, Southampton, pp. 43–52.